

Relevo digital dos municípios brasileiros

Daniel Pereira Guimarães¹
Elena Charlotte Landau¹
Thomaz Correa e Castro da Costa¹

¹ Embrapa Milho e Sorgo
Caixa Postal 151 - 35680-368 – Sete Lagoas - MG, Brasil
{daniel, landau, thomaz} @cnpms.embrapa.br

Abstract. The Brazilian Geodetic Network is being modified to the geocentric system since the creation of SIRGAS (*Geocentric Reference System for South America*), a system identical to WGS 84 (*World Geodetic System 1984*). The availability of digital elevation models of mission SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) represent an important reference for the generation of standardized topographic bases of low cost in a geocentric system. The agricultural activity is closely related to relief characteristics, and the existence of a standardized base in a scale compatible with the agricultural use is fundamental for better utilization of the rural space. From SRTM information, data bases were generated including level contours lines, slope and solar exposition for all Brazilian municipalities. The level contours, with 20 m intervals, may be visualized with SIGs or directly with *Google Earth*. Thematic maps of slope present gradients of susceptibility to soil erosion (flat, light undulated, moderate undulate, undulate, very undulate and steep) and slope limitations for mechanized agriculture (12% and 18% slope). The solar exposition of the terrain presents the directions of the predominant cardinal points. The maps generated in this study represent a standardized cartographic base. This work represent an evolution in relation to previous topographical databases, allowing its access by everyone, and representing a major subsidy for the development of appropriate strategies to use and/or management of land in Brazil, including sustainable development.

Palavras-chave: SRTM, digital relief, Digital Elevation Model, level contour lines, slope, aspect (solar exposition), topography, Modelo Digital do Terreno, relevo digital, curvas de nível, declividade, exposição solar, topografia.

1. Introdução

Recentes avanços tecnológicos têm contribuído para o aumento do nível de detalhamento dos estudos do relevo da superfície terrestre. Os mais significativos são a ampliação da capacidade de processamento dos computadores, o acesso a programas computacionais (comerciais ou de uso gratuito) como ferramentas de sistemas de informações geográficas (SIG), a disponibilização gratuita de imagens de satélite, o uso de sistemas geodésicos baseados em referenciais geocêntricos e a disponibilidade de modelos digitais de elevação do terreno (MDE ou DEM – Digital Elevation Model).

Em consonância com a tendência mundial, desde o ano 2000 a Rede Geodésica Brasileira vem sendo alterada para o sistema geocêntrico, a partir da criação do SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul, sistema idêntico ao WGS 84 “*World Geodetic System 1984*” (Pereira et al. 2004). Atualmente o sistema WGS representa o *Datum* padrão de localização geográfica do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), da Organização Hidrológica Internacional e da Organização Internacional da Aviação Civil, e constitui o *Datum* oficial dos GPSs (TRUE, 2004). Correa et al. (2005) constataram que o Mapeamento Sistemático Brasileiro encontra-se incompleto e desatualizado, e recomendam a transformação das cartas topográficas para o sistema WGS 84 e o uso de imagens CBERS para atualização das informações.

Farr et al. (2007) chamam a atenção para a necessidade de uso de sistemas topográficos globais. Conforme os autores, enquanto os países desenvolvidos possuem cartas topográficas

com altos níveis de detalhamento, algumas regiões da América do Sul e África não dispõem desses recursos. Ademais, o uso de diferentes *datums* dificulta a integração espacial, representando fonte de inconsistências. Desse modo, os modelos digitais de elevação, obtidos por interferometria ou estereoscopia orbital representam uma alternativa eficiente para a geração de bases topográficas padronizadas, de baixo custo, num sistema geocêntrico e para quase a totalidade do Globo terrestre.

Um marco importante na geração de modelos digitais de elevação foi estabelecido pelo SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com o acoplamento do radar interferométrico (*InSAR*) no ônibus espacial *Endeavour*, através de uma haste de 60 metros de comprimento. A missão, lançada em fevereiro de 2000, permitiu obter modelos digitais de elevação da superfície terrestre compreendida entre as latitudes de 60° norte (extremo norte da Groenlândia) e 56° sul (Terra do Fogo) através de 159 órbitas, em um período de 10 dias. A adaptação do radar interferométrico na nave *Endeavour* representa a maior estrutura já lançada na órbita terrestre.

A disponibilização dos dados teve início em 2003, com resolução de 1 arco de segundo (cerca de 30 metros na linha do equador) para os Estados Unidos, enquanto para outros países essa resolução foi degradada para 3 arcos de segundo (aproximadamente 90 metros). A utilização desse sistema amostral gera algumas imperfeições (*voids*), como a ocorrência de pontos ou faixas vazias (*pits*, *patches*) em áreas com detalhes de textura insuficientes para a geração de modelos tridimensionais, como as áreas cobertas por corpos d'água (oceanos, rios, lagos) e áreas desérticas. Outra fonte de erros está relacionada ao ângulo de incidência do radar (entre 31° e 61°) que dificulta o imageamento de áreas com relevo escarpado. Ressalta-se ainda a incapacidade do radar em atravessar o dossel das árvores, especialmente em áreas de floresta densa, como a Região Amazônica. Mesmo assim, Gamache (2004) ressalta que as vantagens advindas do uso do SRTM suplantam os inconvenientes relacionados e cita o fato de gerar informações dez vezes mais detalhadas que os sistemas anteriormente disponíveis, uma base de dados homogênea para cerca de 80% do globo, recobrimento de praticamente todas as áreas habitadas do planeta, acesso livre e gratuito às bases de dados, além do imageamento em áreas sob constante cobertura de nuvens (ex: Região Amazônica e Himalaia). Kocak et al. (2004) verificaram que os modelos de elevação digital gerados pelo SRTM são mais precisos do que aqueles gerados por imagens de satélite com resolução espacial menor do que 5 m (ASTER, SPOT, LANDSAT e TK350). Ademais, as bases do SRTM vêm sendo constantemente melhoradas através do emprego de MDE's auxiliares e técnicas estatísticas para correção de falhas e imperfeições nos dados originais a partir da versão SRTM-3 (Gamache 2004) e da versão SRTM-4, recentemente disponibilizada pelo consórcio CGIAR-CSI (Reuter et al. (2007).

Este trabalho objetivou a conversão de MDE's do SRTM-3 em feições do terreno para todo o território brasileiro em escala compatível entre 1:100.000 e 1:250.000, gerando mapas temáticos de curvas de nível para os municípios brasileiros, e mapas por Estado de altitude, curvas de nível, classes de declividade e exposição do terreno combinada com as classes de declividade. A base de dados difere da recentemente disponibilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Topodata) pelo fato de usar os modelos de elevação digital em sua resolução original de 90 metros, enquanto Valeriano et al. (2008) realizaram interpolação por *krigagem* para transformação da resolução espacial original para 30 metros. A base gerada também difere da anterior por apresentar maior precisão na definição do contorno das áreas costeiras. Outra diferença básica entre este trabalho e as informações topográficas existentes (incluindo a recentemente disponibilizada pelo INPE) é que a maioria dos trabalhos subdivide o território nacional considerando o limite das cartas topográficas padronizadas, principalmente as cartas na escala 1:250.000. A base gerada no presente trabalho é disponibilizada por município ou Estado, visando tornar as informações acessíveis tanto para

profissionais especializados na utilização de técnicas de sistemas de informações geográficas quanto para leigos na área.

2. Metodologia

O trabalho foi realizado a partir dos MDE's em mosaicos de 5 x 5 graus da versão SRTM-3, disponibilizados pelo Consórcio para Informações Espaciais CGIAR-CSI, contendo as correções de distorções conforme os procedimentos descritos por Gamache (2004) no site de download: <http://srtm.csi.cgiar.org>. Os mapas temáticos foram elaborados de acordo com os procedimentos apresentados a seguir:

2.1. Altitude: As imagens do SRTM-3 foram inicialmente agrupadas de modo a garantir o recobrimento de todo o país. A partir destas, através do programa Erdas Imagine foram gerados mapas por Estado. Foram considerados os limites estaduais definidos conforme a malha municipal dos municípios brasileiros, disponibilizada pelo IBGE em: ftp://geofitp.ibge.gov.br/mapas/malhas_digitais/municipio. Os *layouts* dos mapas foram gerados utilizando o programa ArcGIS, no formato JPEG, *true color 24 bit* em 800 *dpi* (5075 x 4358 pixels).

2.2. Curvas de Nível: As curvas de nível foram geradas utilizando o programa ArcView (formato *shp*), considerando intervalos de 20 m. Com base na malha municipal de 2005 (IBGE), foram gerados mapas de curvas de nível por município. Os arquivos foram posteriormente convertidos para o formato *kml*, para visualização no programa *Google Earth*, utilizando o programa *freeware Shp2Kml*, disponibilizado no site: <http://www.zonums.com/>.

2.3. Declividade do terreno: Os mapas de declividade foram gerados utilizando o programa Idrisi. Inicialmente foram gerados mapas de declividade em porcentagem, representando valores contínuos de declividade. Os valores de declividade foram agrupados em classes, gerando três mapas de declividade. No primeiro mapa foram representadas duas classes de declividade: declividade menor do que 12% e declividade igual ou maior do que 12%. A declividade 12% representa o limite para uso de mecanização de culturas como a cana-de-açúcar (Rodrigues e Saab, 2007; Severo e Cardoso, 2008). No segundo mapa foram representadas as classes: declividade menor do que 18% e declividade igual ou maior do que 18%. Declividades superiores a 18% limitam o uso da terra para a mecanização agrícola. No terceiro mapa foram diferenciadas classes de declividade considerando os graus de limitação por suscetibilidade à erosão apresentados por Ramalho Filho e Beek (1995). A partir dessas bases foram gerados mapas considerando os limites Estaduais e municipais considerando a malha municipal digital de 2005 (IBGE). Para esse procedimento foi utilizado o programa Erdas Imagine.

2.4. Exposição Solar: Os mapas de exposição solar foram gerados através do programa Idrisi, resultando num mapa com valores conforme o ângulo de orientação média do terreno na área coberta por cada pixel. Posteriormente, tais valores foram agrupados, resultando em quatro classes, considerando os quatro pontos cardeais principais: Leste, Norte, Oeste e Sul. Utilizando o programa Erdas Imagine, foi gerado um mapa integrando as informações de exposição solar e declividade considerando os diferentes graus de suscetibilidade à erosão, em locais com declividade maior do que 8%. Foram gerados mapas por Estado, considerando a malha municipal digital do Brasil de 2005 (IBGE).

3. Resultados e Discussão

3.1. Altitude: A Figura 1 mostra um exemplo do mapa altimétrico (de altitude) gerado para o Estado do Mato Grosso do Sul. Os mapas de altimetria gerados por Estado podem ser visualizados no endereço: <http://www.agritempo.gov.br/altimetria/<sigla do Estado de interesse>.html>. No caso do Estado do Amazonas, por exemplo, a “<sigla do Estado de interesse>” é AM. No referido *site* são disponibilizados *layouts* em alta e baixa resolução. O *layout* em baixa resolução permite visualizar as informações sobre altimetria do Estado como um todo, como no exemplo da Figura 1. O *layout* em alta resolução facilita a visualização dos limites municipais sobrepostos ao mapa de altimetria, bem como a identificação da localização geográfica das respectivas sedes municipais.

3.2. Curvas de Nível: A Figura 2 representa uma visualização das curvas de nível através do programa *Google Earth* da Serra Santa Helena, situada a oeste da cidade de Sete Lagoas-MG. Embora a resolução espacial (90 metros) dos MDE's do SRTM-3 seja compatível com a geração de curvas de nível em intervalos de 40 metros, optou-se pela geração de curvas a intervalos regulares de 20 metros.

Considerando pontos controle obtidos com o uso de GPS diferencial, Pinheiro (2006) comparou a precisão de curvas de nível geradas pelo SRTM e a de cartas topográficas escala 1:50.000 da Diretoria do Serviço Geográfico (DSG), tendo observado que as informações geradas a partir do SRTM apresentaram maior precisão. Barros et al. (2005) demonstram a aplicabilidade de uso dos modelos SRTM para a ortorretificação de imagens compatíveis com a escala de 1:50.000. Santos et al. (2006) observaram que os MDE's gerados a partir do SRTM tiveram precisão vertical superior aos obtidos por MDE's gerados a partir de cartas topográficas na escala de 1:100.000, para uma área de estudos na Região Amazônica. Melgaço et al. (2005) observaram que os MDE's gerados pelo SRTM são comparáveis aos obtidos pelas imagens ASTER com pixel de 15 metros e compatíveis com informações nas escalas de 1:50.000 ou maiores. Valeriano e Abdon (2007) mostraram a aplicabilidade dos MDE's do SRTM para a identificação cobertura vegetal na Região do Pantanal Matogrossense. Higa et al. (2006) avaliaram a precisão vertical dos MDE's gerados pelo SRTM em relação às alturas ortométricas dos marcos da Rede GPS do Estado de Mato Grosso do Sul e, ao compararem os resultados obtidos com o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, concluíram que os dados do SRTM atendem o PEC nas escalas 1:30.000 para a Classe “A”, 1:25.000 para a Classe “B” e 1:20.000 para Classe “C”.

3.3. Declividade do terreno: Na Figura 3 é apresentado um exemplo do mapa de declividade da área continental do Estado do Espírito Santo.

3.4. Exposição Solar: Os mapas serão disponibilizados a partir do início de 2009 através do site <http://www.agritempo.gov.br>.

Estado do Mato Grosso do Sul - Altimetria

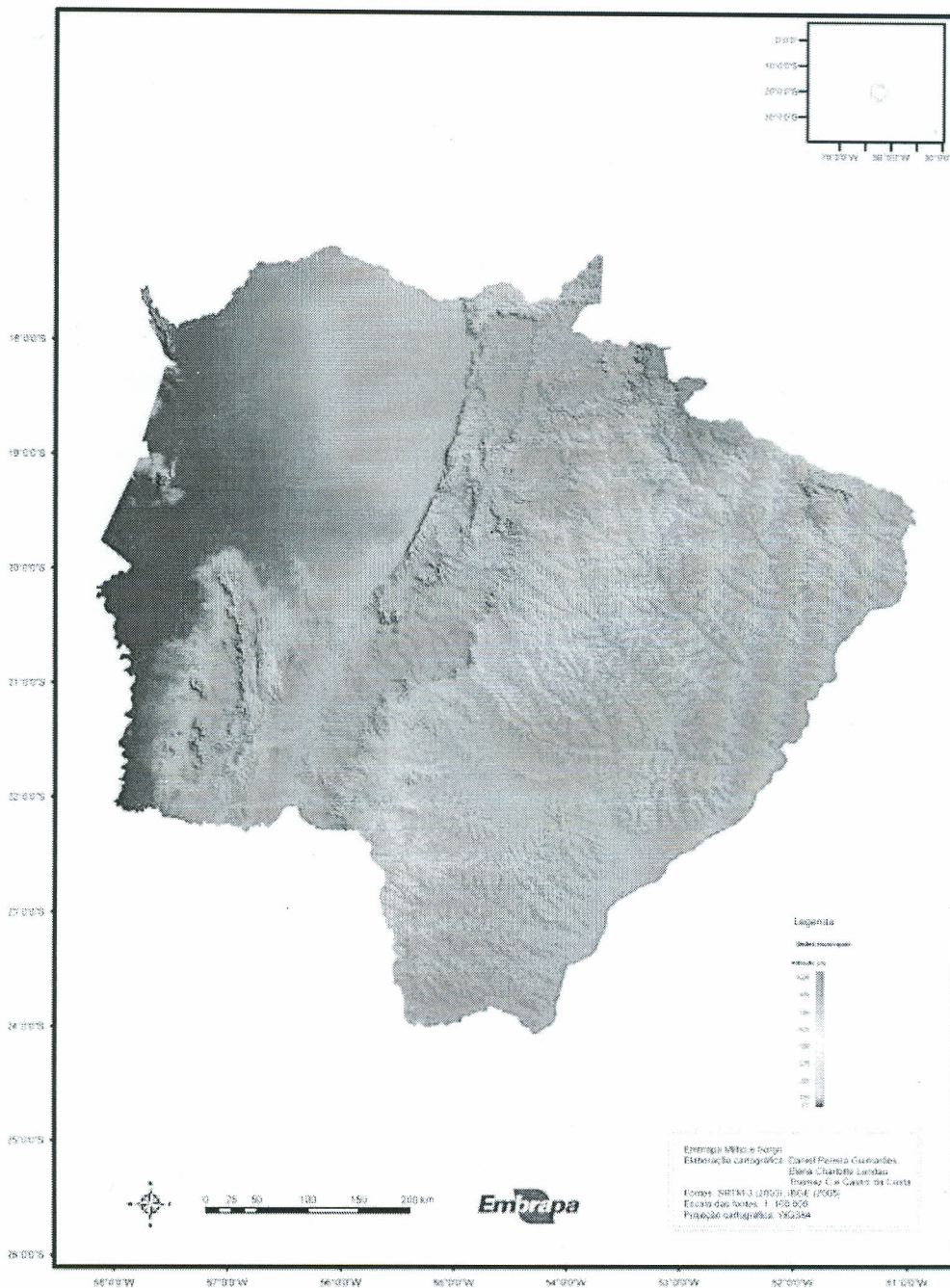


Figura 1. Mapa planialtimétrico do Estado do Mato Grosso do Sul a partir de modelos digitais de elevação do SRTM. Destaca-se a diferença entre a variação do relevo na área situada no noroeste do Estado (Pantanal) e a região mais montanhosa situada na região nordeste do mesmo Estado.

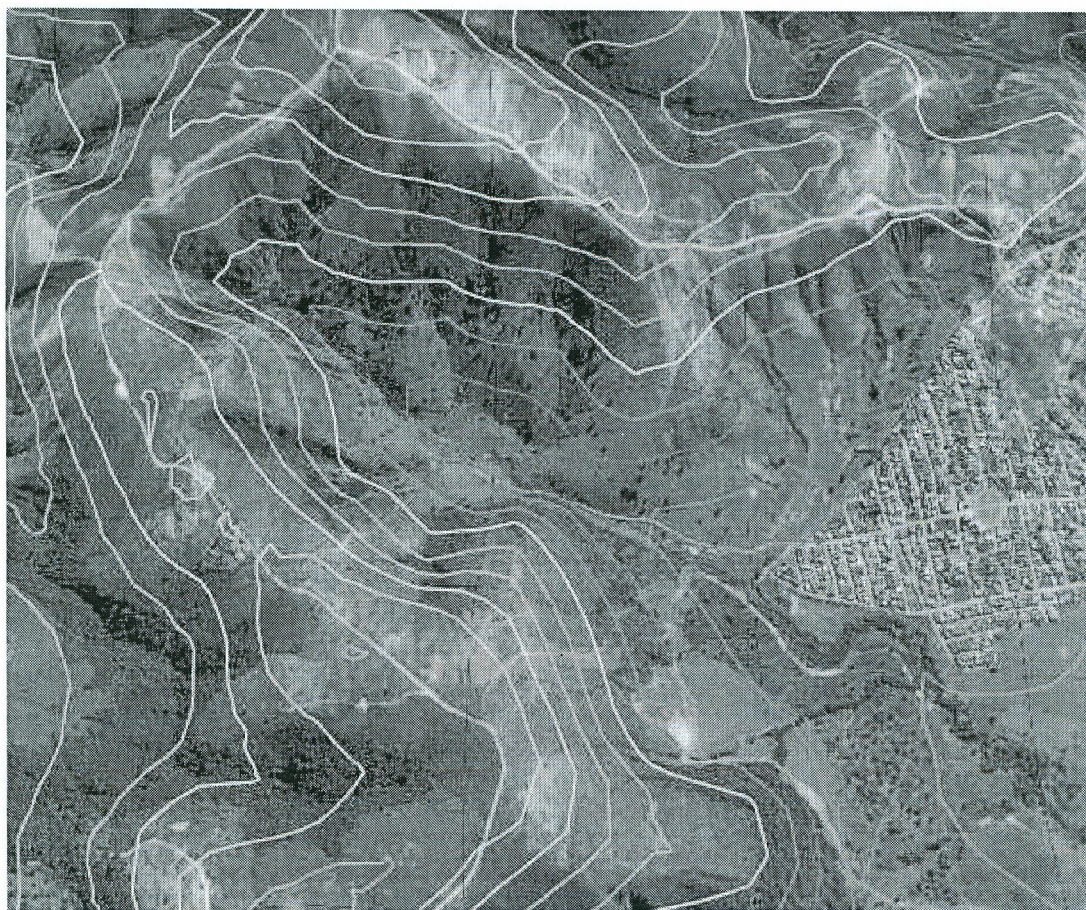


Figura 2. Visualização, no programa *Google Earth*, de curvas de nível geradas a partir do SRTM-3– Detalhes da Serra Santa Helena, em Sete Lagoas- Minas Gerais.

Estado do Espírito Santo - Declividade

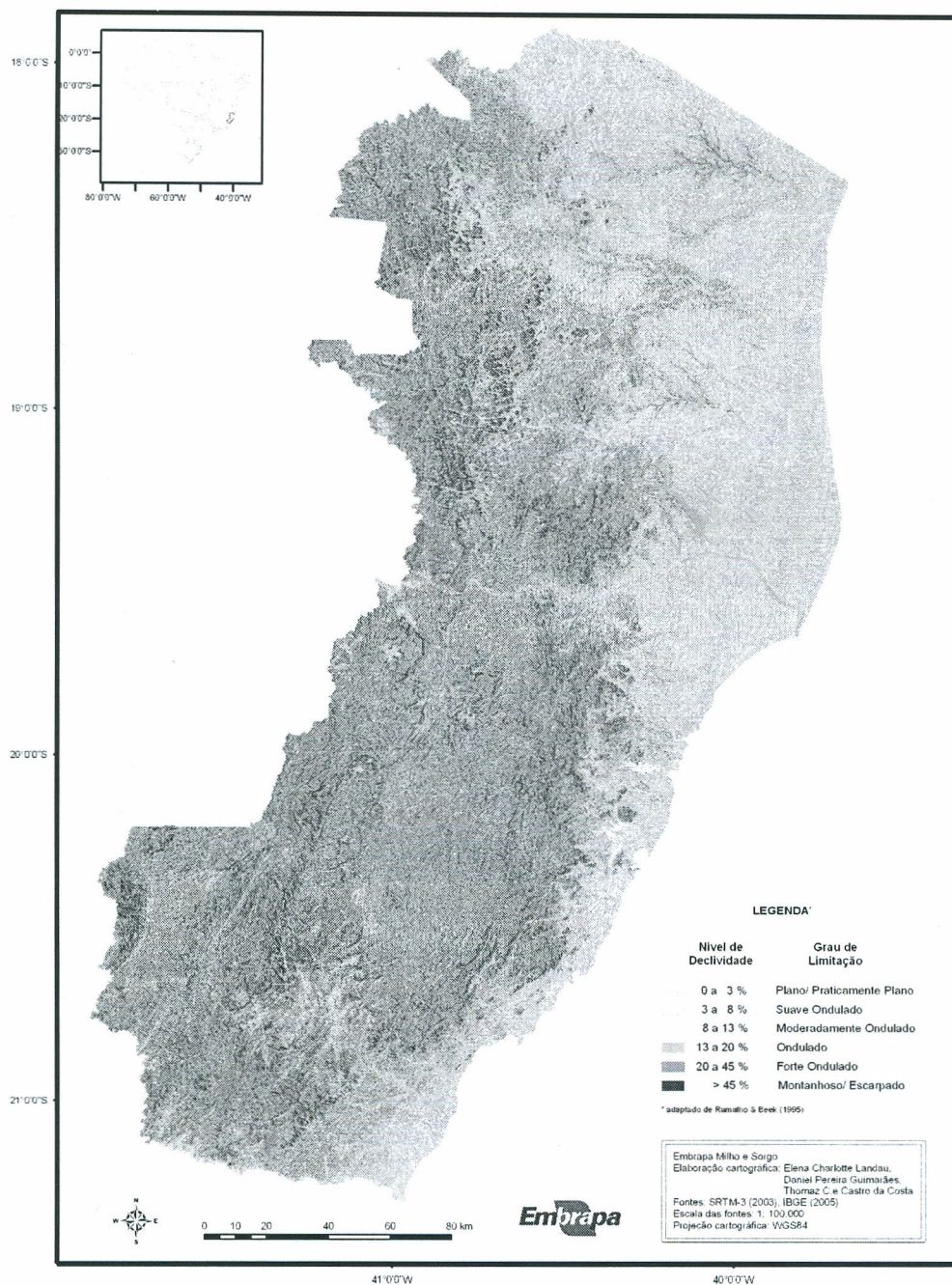


Figura 3. Mapa de declividade da área continental do Estado de Estado do Espírito, apresentando classes de declividade que representam diferentes graus de limitação por suscetibilidade à erosão, conforme definido por Ramalho Filho e Beek (1995).

4. Conclusões

Existem controvérsias quanto ao enquadramento dos dados SRTM, no referente à escala máxima aceitável em função da precisão cartográfica das imagens. Por cautela, recomenda-se a sua utilização para a realização de trabalhos em escala 1:100.000. Os mapas temáticos gerados representam uma base padronizada em um sistema geocêntrico, abrangendo o território Nacional. O trabalho representa uma evolução em relação a bases topográficas anteriores, facilitando o acesso por parte de especialistas e leigos, como importante subsídio para a definição de estratégias adequadas de uso e/ou manejo da terra no Brasil.

Referências Bibliográficas

- Barros, R. S. De; Cruz, C. B. M.; Reis, R. B.; Costa JR, N. de A. Avaliação do Modelo Digital de Elevação do SRTM na Ortorectificação de Imagens Landsat 7 – área de aplicação: Angra dos Reis, RJ. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3997-4004.
- Corrêa, J. D.; Cruz, C. B. M.; Menezes, P. M. L.; Marini, S. S.; Barros, R. S. Contribuição das imagens CBERS na Atualização do Mapeamento Sistemático Brasileiro na escala 1:100.000. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 873-880.
- Farr, T.G.; Rosen, P.A.; Caro, E.; Crippen, R.; Duren, R.; Hensley, S.; Kobrick, M.; Paller, M.; Rodriguez, E.; Roth, L.; Seal, D.; Shaffer, S.; Shimada, J.; Umland, J.; Werner, M.; Oskin, M.; Burbank, D.; Alsdorf, D. 2007. The Shuttle Radar Topography Mission. *Review of Geophysics*, v.45, p. 1-43.
- Gamache, M. (2004). Free and Low Cost Datasets for International Mountain Cartography, http://www.icc.es/workshop/abstracts/ica_paper_web3.pdf.
- Higa, L. T.; Paranhos Filho, A. C.; Torres, T. G.; Salles, A. T. Avaliação da precisão vertical do modelo SRTM para a bacia do rio Paraguai, no Estado de Mato Grosso do Sul. Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil, 11-15 novembro 2006, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.834-840.
- IBGE. Malha municipal digital do Brasil - 2001. Rio de Janeiro: DGC/DECAR, 2001. CD-ROM.
- Kocak, G. , Buyuksalih, G. And K. Jacobsen, (2004). "Analysis of Digital Elevation Models Determined by High Resolution Space Images" *IntArchPhRS. Band XXXV, Teil B4. Istanbul, 2004, S: 636-64.*
- Melgaço, L. M.; Souza Filho, C. R.; Steinmayer, M. Comparação entre modelos digitais de elevação gerados por sensores ópticos e por radar. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1215-1220.
- Pereira, K. D.; Lobianco, M. C. B.; Costa, S. M. A. Mudança do Referencial Geodésico no Brasil. Anais - I I Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aracaju/SE, 10 a 12 de novembro de 2004.
- Pinheiro, E. S. Comparação entre dados altimétricos *Shuttle Radar Topography Mission*, Cartas Topográficas e GPS: numa área com relevo escarpado. **Revista Brasileira de Cartografia**, 58/01, 2006, p. 1-9.
- Ramalho Filho, A. E K. J. Beek. **Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras**. EMBRAPA, Rio de Janeiro. 1995. 65p
- Reuter H.I, A. Nelson, A. Jarvis, 2007, An evaluation of void filling interpolation methods for SRTM data, **International Journal of Geographic Information Science**, 21:9, 983-1008.
- Rodrigues, E. B. E O. J. G. A . Saab. Avaliação técnico-econômica da colheita manual e mecanizada da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) na região de Bandeirantes – PR. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 28, n. 4, p. 581-588, 2007 (disponível em http://www.uel.br/proppg/semina/pdf/semina_28_4_19_5.pdf)
- Santos, P. R. A; Gaboardi, C.; Oliveira, L. A . Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**, 58/01, abril de 2006, p. 101-107.
- Severo, J. R. E L. Cardoso. Cana-de-açúcar: Lei ambiental impõe mecanização da lavoura da cana. 4p. 2008. (disponível em www.cna.org.br/site/down_anexo.php?q=E22_20341Mecanizacaodacana.pdf)
- True, S.A. (2004) Planning the future of the World Geodetic System 1984. Presented at the IEEE Position Location and Navigation Symposium 2004, 26-29 April 2004, Monterey, California
- Valeriano, M. M.; Abdon, M. M. Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. **Revista Brasileira de Cartografia**, 59/01, abril, 2007, p. 63-71.
- Valeriano, M. M. . Topodata - banco de dados geomorfométricos locais do Brasil. 2008.